



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-105 – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS BASEADO EM LAGOAS DE POLIMENTO COM LENTILHAS D'ÁGUA – OPERAÇÃO E MANEJO

Aretuza Viana de Andrade(1)

Engenheira civil, Especialista em Engenharia Sanitária, Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Marcos von Sperling

Engenheiro Civil. Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College, Universidade de Londres. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço(1): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais –UFMG - Av. Contorno, 842 – 7º andar - Centro – Código postal: 30.110-060 – Belo Horizonte – BRASIL. Tel: (31) 3238-1935 – Fax: (31) 3238-1879.



marcos@desa.ufmg.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a operação e manejo de um sistema de tratamento de esgotos sanitários baseado em lagoas de polimento com lentilhas d'água, atuando como pós-tratamento de reator UASB. A pesquisa foi realizada em unidades de tratamento de esgotos sanitários em escala de demonstração (250 habitantes), localizadas junto à Estação de Tratamento de Esgotos de Belo Horizonte (ETE-Arrudas), e compostas por um reator UASB e quatro lagoas, sendo na lagoa 4 pesquisadas as lentilhas d'água. Os gêneros das lentilhas usados foram *Wolffia* e *Lemna*.

O monitoramento que se dividiu em duas fases, definidas antes (Fase 1) e depois (Fase 2) da colocação das lentilhas na lagoa 4 durou 11 meses. A Fase 2 dividiu-se em duas etapas, sendo que na etapa 1 as quatro lagoas operaram em série e na etapa 2, operaram dois conjuntos de duas lagoas, sendo o conjunto 1, lagoas 1 e 2, com profundidade 0,80m, e conjunto 2, lagoas 3 e 4, profundidade de 0,40m. As características de funcionamento do tratamento preliminar e do reator UASB foram mantidas constantes, durante as duas fases operacionais. Nas lagoas houve variação quanto à quantidade de lagoas em série, profundidade e TDH.

Os resultados tanto de DBO total quanto de DQO total e Sólidos Suspensos Totais mostraram menores concentrações na Fase 1, sem lentilhas, comparando com a Fase 2, etapa 1. Já na Fase 2, etapa 2, o sistema 2, com lentilhas, comparando com o sistema 1, mostrou melhor eficiência.

Sobre a densidade das lentilhas d'água os resultados mostram uma redução na camada de lentilhas, durante a fase experimental, com o objetivo de se chegar a uma densidade ideal. Foi encontrada uma densidade de aproximadamente 500 g/m², enquadrando-se aos valores encontrados na literatura, que variam de 400 a 700 g/m².

Foi observado que alguns fatores contribuíram para o aumento da Taxa de Crescimento Relativa (TCR). Dentre eles a menor densidade das lentilhas d'água e os diferentes gêneros usados (*Wolffia* e *Lemna*), com diferentes taxas de crescimento, ou simplesmente, a melhor adaptação das plantas na fase final da pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de polimento, Reator UASB, Algas, Lentilhas d'água e Densidade.

INTRODUÇÃO

O sistema de tratamento de esgotos sanitários baseado em lagoas de polimento com lentilhas d'água tem como objetivo a redução de algas no efluente final, principal inconveniente em sistemas de tratamento de esgoto através de lagoas. As lentilhas d'água são plantas de pequenas dimensões, que tendem a formar um tapete na superfície das lagoas, dificultando a penetração da energia luminosa e, em decorrência, a proliferação de algas.

As algas lançadas em mananciais, além de causarem o aumento da matéria particulada e de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir sabor e odor à água, podem ser precursoras da formação de compostos organoclorados. Essas alterações de qualidade da água podem apresentar efeitos diretos ou indiretos na operação da estação de tratamento de água, dos sistemas de reservação e distribuição, e nos custos com produtos químicos.

A utilização de lagoas de estabilização com lentilhas é uma alternativa para tratamento de águas residuárias de interesse crescente entre pesquisadores. A compatibilização dos processos de tratamento naturais aquáticos é altamente aconselhável pela simplicidade, eficiência e baixo custo, tendo como única preocupação o período e a quantidade na remoção das plantas (BUDDHAVARAPU, 1991).

Por as lentilhas possuírem taxas de crescimento muito elevadas, foi realizado um plano de manejo de forma a manter um tapete superficial capaz de cobrir a superfície da lagoa, sem a sobreposição das plantas, impedindo a penetração dos raios solares e consequentemente, a realização de fotossíntese e o aumento da biomassa algal.

Este experimento é fruto do convênio entre o DESA/UFMG e a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG). A realização desta pesquisa esteve incluída dentro do Programa Nacional de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB, Edital 3, Tema 2.

Este trabalho complementa a publicação de ANDRADE et al. (2003), o qual se concentrou em aspectos de desempenho do sistema, ao passo que o presente trabalho enfoca principalmente aspectos operacionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do Sistema de Tratamento

O aparato experimental é composto por um reator anaeróbio tipo UASB e quatro lagoas de polimento, em série. O esgoto chega ao reator UASB após passar pelo tratamento preliminar da ETE Arrudas, constituído de gradeamento, desarenador e medidor Parshall. Em seguida, é direcionado às lagoas, em número de quatro. Na Tabela 1 podem ser observadas as principais características das lagoas e na Figura 1 a vista da lagoa 4, onde estão sendo pesquisadas as lentilhas.

Tabela 1 - Características das Lagoas

Características	Unid.	Lagoas
Comp. a 1/2 altura	m	26,00
Largura a 1/2 altura	m	6,25
Profundidade	m	0,4

Figura 1: Lagoa com Lentilhas Lagoa 4)



Fases Operacionais

A presente pesquisa foi dividida em duas fases distintas, definidas antes (Fase 1) e depois (Fase 2) da colocação das lentilhas na lagoa 4. A Fase 2 dividiu-se em duas etapas, de forma que na etapa 1 as quatro lagoas operaram em série e na etapa 2, operaram dois conjuntos de duas lagoas, sendo o sistema 1, lagoas 1 e 2, e sistema 2, lagoas 3 e 4. As características de funcionamento do tratamento preliminar e do reator UASB foram mantidas constantes, durante as duas fases operacionais. A Tabela 2 sintetiza as principais características das fases operacionais e a Figura 2 ilustra estas características.

Tabela 2 - Características das Fases Operacionais

monitoramento	Fase 1				Fase 2							
					Etapa 1				Etapa 2			
Duração	2 meses (jul-ago.2002)				4 meses (set-dez.2002)				5 meses (jan-maio2003)			
Configuração	4 lagoas em série (lagoa 4 sem lentilhas)				4 lagoas em série (lagoa 4 com lentilhas)				2 conjuntos de 2 lagoas em (lagoa 4 com lentilhas)			
Lagoas estudadas	Lagoas 1,2,3 e 4				Lagoas 1,2,3 e 4				1º conj.-L1-L2		2º conj.-L3-L4	
Caract. das lagoas	Lag. 1	Lag. 2	Lag. 3	Lag. 4	Lag. 1	Lag. 2	Lag. 3	Lag. 4	Lag. 1	Lag. 2	Lag. 3	Lag. 4
Profundidade	0,65	0,55	0,40	0,40	0,65	0,55	0,40	0,40	0,80	0,80	0,40	0,40
TDH (d)	2,5	2,1	1,4	1,4	2,5	2,1	1,4	1,4	6,2	6,2	2,9	2,9
Q média (m³/d)	40	40	40	40	40	40	40	40	20	20	20	20

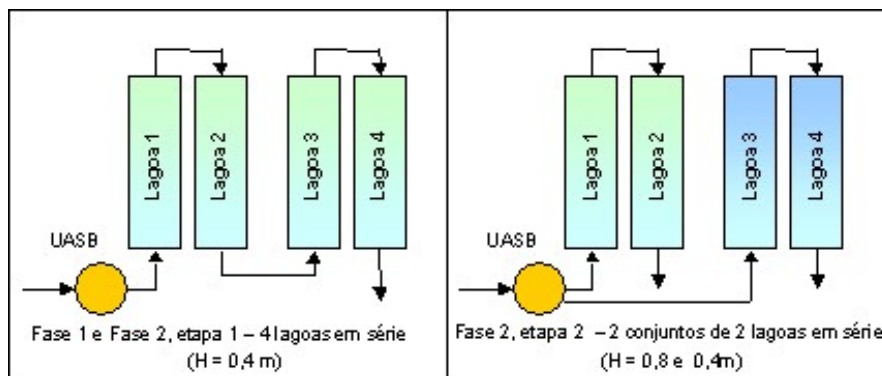


Figura 2 - Resumo das características operacionais do sistema

Manejo das Lentilhas

A primeira atitude a ser tomada para a determinação de um plano de manejo em lagoas de tratamento de esgoto com lentilhas d'água é saber a biomassa e a taxa de crescimento destas plantas. Entretanto medir biomassa e taxa de crescimento de macrófitas aquáticas sempre foi um processo complicado, pois a forma de crescimento vegetativo, impedindo a definição clara do indivíduo, e o fenótipo da espécie contribui para estas dificuldades práticas.

Em geral, tanto a determinação da biomassa quanto a taxa de crescimento é avaliada utilizando algum mecanismo de marcação, metodologia utilizada frequentemente para espécies que possuem folhas emergentes, com parênquima de sustentação desenvolvido. No caso das lentilhas d'água, não se conhece outro procedimento que seja recomendado para estas estimativas.

As lentilhas utilizadas na pesquisa foram as *Lemnas minor*, coletadas, no lago do ICB – Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte, e as *Wolffias punctata*, coletadas em lagoas de tratamento dos efluentes de um abatedouro, em Pedro Leopoldo.

No início as colheitas das lentilhas eram realizadas uma vez por semana, de forma que se mantivesse uma densidade capaz de prevenir o super enchimento de lentilhas e o suficiente para cobrir a lagoa e minimizar o desenvolvimento das algas. Com o passar do tempo, devido à alta taxa de crescimento das lentilhas, foi observado que a colheita feita apenas uma vez por semana não era ideal, pois estava ocorrendo superposição das plantas. Desta forma, este procedimento passou a ser realizado duas vezes por semana e posteriormente diariamente. Esta adequação na frequência da colheita e da quantidade de material retirado foi feita até se chegar a valores de densidades aproximados aos encontrados na literatura (CAICEDO et al., 2002; AL-NOZAILY & ALAERTS, 2002), que variam de 400 a 900 g/m² (peso fresco).

A colheita das lentilhas foi um processo manual, feito com rede (ver Figuras 3 e 4). As lentilhas, depois de colhidas, eram transportadas por carrinho até o leito de secagem e posteriormente dispostas no aterro da ETE ARRUDAS.



Figura 3: Colheita das lentilhas d'água



Figura 4 : Detalhe da rede utilizada na colheita da lentilhas d'água

CAICEDO et al. (2002), em suas lagoas com lentilhas d'água, mantiveram uma densidade de 700 g/m^2 , colhendo de 4 em 4 dias. COLLÍ-MISSET et al. (2002) variaram a densidade das lentilhas d'água de 400 a 900 g/m^2 , enquanto AL-NOZAILY & ALAERTS (2002) mantiveram em suas lagoas um valor de 500 g/m^2 .

De acordo com COLLÍ-MISSET et al. (2002), a taxa de crescimento das lentilhas d'água varia de acordo com o TDH e a concentração da matéria orgânica e nutrientes do esgoto a ser tratado.

Para medição da biomassa e da taxa de crescimento das lentilhas d'água foi utilizado como mecanismo de marcação um quadrado de isopor, com dimensões externas de $0,50 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}$, borda de $0,10 \text{ m}$ de cada lado, que era preso na plataforma da lagoa através de um cordão de nylon. Na parte de baixo do quadrado havia um anteparo, mostrado na Figura 5, também de isopor, de aproximadamente $0,02 \text{ m}$, para impedir que as lentilhas selecionadas não saíssem da área de amostragem.



Figura 5 – Quadrado de isopor usado na medição da biomassa e taxa de crescimento das lentilhas d'água

Importante salientar que a primeira lentilha colocada na lagoa, a *Lemna minor*, saiu saído junto do efluente, reaparecendo posteriormente e predominando sobre a *Wolffia punctata*, colocada após o "desaparecimento" da primeira lentilha colocada na Lagoa 4. Isto dificultou a medição das taxas de crescimento e biomassa, pois apesar de serem macrófitas de tamanho muito pequeno, há uma grande diferença no tamanho da *Wolffia* e da *Lemna*.

RESULTADOS

DBO total, DQO total e SST

De forma a justificar uma melhoria no efluente através de um adequado plano de manejo, são mostradas as concentrações médias de DBO total, DQO total e Sólidos Suspensos Totais, para a Fase 1 e Fase 2, etapa 2, e Fase 2, etapa 2, sistemas 1 e 2, respectivamente, através das Figuras 6 e 7, 8 e 9 e 10 e 11.

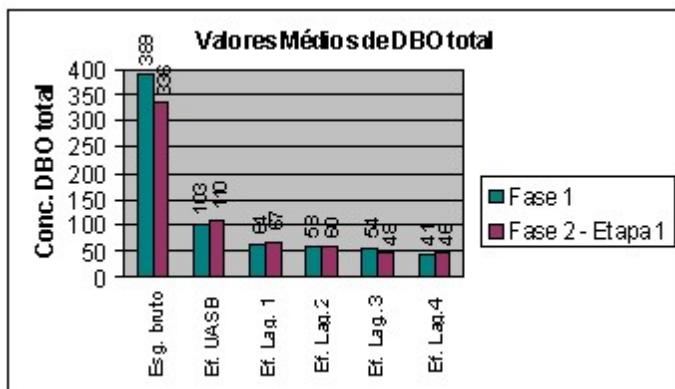


Figura 6 - Valores médios de DBO total – Fase 1 e Fase 2, etapa 1

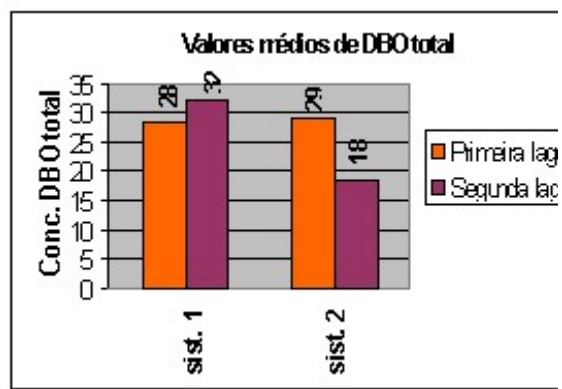


Figura 7 - Valores médios de DBO total - Fase 2, e – sistemas 1 e 2

Na Fase 1 e Fase 2, etapa 1, em que as quatro lagoas operaram em série, os sistemas apresentaram eficiências altas na remoção de DBO. A eficiência média da lagoa 4, na Fase 1, sem lentilhas, foi muito superior que na Fase 2, com lentilhas. As lagoas 1, 2 e 3 apresentaram eficiências médias na Fase 2 sempre superiores às da Fase 1. Nesta comparação a presença das lentilhas d'água não conduziu a uma redução na concentração de DBO, sendo que isto pode estar relacionado com o manejo das plantas, pois nesta fase ainda não estava definido o melhor intervalo de colheita e a densidade das lentilhas.

Já na Fase 2, etapa 2, o sistema 2, operando com as lagoas 3 e 4 em série, com menor profundidade, 0,40 m, e TDH, de 2,9 dias, e a presença de lentilhas na última lagoa da série, mostrou melhor eficiência que o sistema 1. O efluente do sistema 1 apresentou eficiência de DBO total de -12 %, enquanto o efluente do sistema 2 foi de 36 %.

Na Fase 1 e Fase 2, etapa 1, o sistema apresentou eficiência de 89 e 86 %. Já na Fase 2, etapa 2, sistemas 1 e 2, as eficiências foram de 61 e 78%, respectivamente. Os valores das eficiências de remoção de DBO da ETE Experimental do Arrudas foram próximos aos encontrados por KÖRNER (1998), de 74 a 78%, mas baixos se comparados com os obtidos por ALAERTS et al. (1996), de 95 a 99%, em sistemas de lagoas com lentilhas.

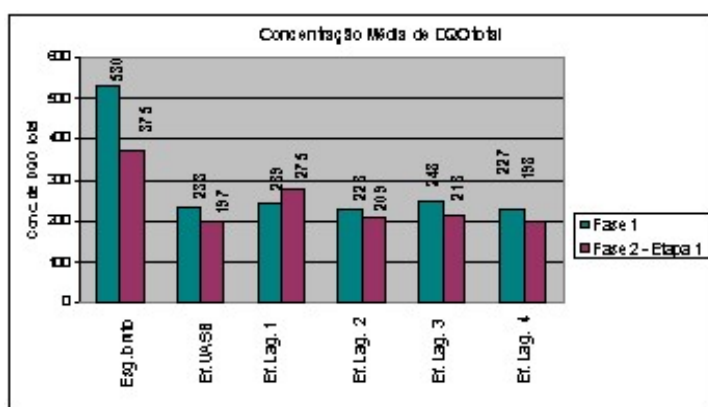


Figura 8 - Valores médios de DQO total – Fase 1 e Fase 2, etapa 1

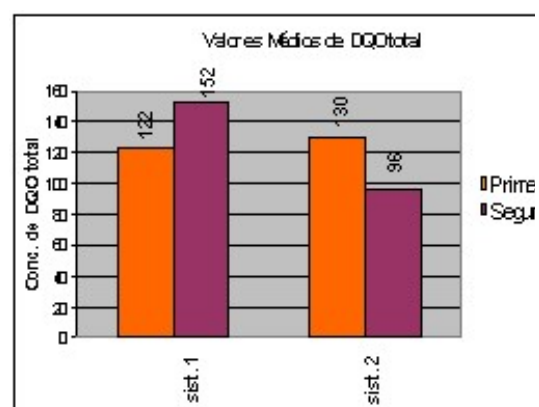


Figura 9 - Valores médios de DQO total - Fase 2 – sistemas 1 e 2

Na Fase 2, etapa 1, a lagoa 4, com lentilhas, apresentou eficiência menor de remoção de DQO total (7%), em relação à Fase 1 (10%). A Fase 2 apresentou a maioria dos resultados de concentração média de DQO total inferiores aos da Fase 1, entretanto a Fase 1 apresentou melhor eficiência geral.

Na Fase 2, etapa 2, a lagoa 4 mostrou melhor eficiência que na Fase 2, etapa 1, o que pode ser explicado pelo bom plano de manejo das lentilhas, com ajuste no período de colheita e densidade das plantas. Na Fase 2, etapa 2, o sistema 2, apresentou, no efluente final, da lagoa 4, concentração média de DQO total de 96 mg/l, muito inferior ao encontrado no efluente final do sistema 1, lagoa 2, que foi de 152 mg/L.

Na Fase 1 e Fase 2, etapa 1, o sistema apresentou eficiência de remoção de DQO de 57 e 47 %. Já na Fase 2, etapa 2, sistemas 1 e 2, as eficiências foram de 8 e 42%, respectivamente. Estes valores são próximos aos encontrados por NAPHI et al. (2002), em lagoas de tratamento de esgoto com lentilhas, em Zimbábue, que foram de 45%.

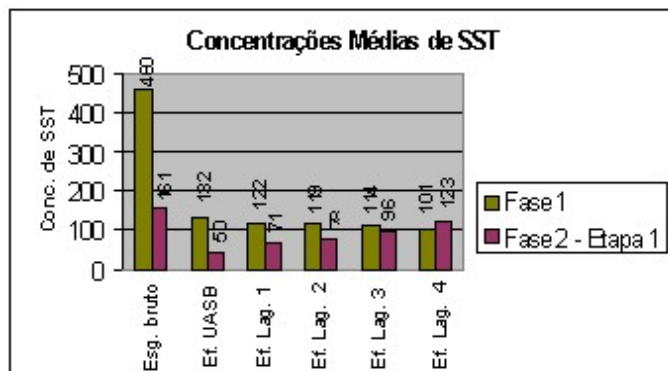


Figura 10 - Concentrações Médias de SST – Fase 1 e Fase 2, etapa 1

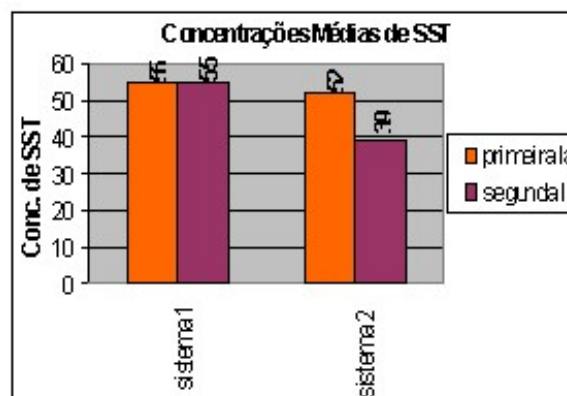


Figura 11 - Concentrações Médias de SST - Fase 2 – sistemas 1 e 2

De maneira similar à DBO e DQO, uma melhor qualidade do efluente foi observada na Fase 1. Na Fase 2, etapa 1, os resultados das concentrações médias, tanto do esgoto bruto quanto dos efluentes do reator UASB e das lagoas, foram inferiores aos encontrados na Fase 1, sendo que apenas a lagoa 4 apresentou valor superior. O aumento de SST na lagoa 4, na Fase 2, etapa 1, pode ser devido à alta densidade de lentilhas, pois a sobreposição das plantas pode ter ocasionado a morte, parcialmente, das mesmas.

Na Fase 2, etapa 2, os valores encontrados foram bem inferiores aos encontrados na Fase 1 e Fase 2, etapa 1. Na Fase 2, etapa 2, observa-se que o sistema 2 apresentou concentrações médias de SST inferiores às encontradas no sistema 1, o que justifica sua melhor eficiência.

Densidade das Lentilhas d'água

Na Tabela 3 são apresentados os valores de densidade de lentilhas encontrados na lagoa 4, durante a fase experimental.

Tabela 3 - Densidade de Lentilhas na Lagoa 4

Data	Densidade
23/01	4.337 g/m ²
25/03	869 g/m ²
29/05	513 g/m ²

Estes resultados mostram uma redução na camada de lentilhas, durante a fase experimental, com o objetivo de se chegar a uma densidade ideal. Os valores encontrados nos meses de março e maio estão de acordo com a literatura, que varia de 400 a 700 g/m².

Taxas de Crescimento Relativo

Na Tabela 4 são apresentados os valores da Taxa de Crescimento Relativo (TCR) das lentilhas d'água encontrados na lagoa, 4 durante a fase experimental.

Tabela 4 - Taxa de Crescimento Relativo (TCR) das lentilhas na Lagoa 4

Data	TCR
26/11	19,3 g/m ² x dia
22/05	49,2 g/m ² x dia

Comparando as Tabelas 3 e 4 observa-se que à medida que a taxa de crescimento aumentou, a densidade das lentilhas d'água diminuiu. Isto mostra que uma melhor densidade, ou seja, uma camada menor de lentilhas, pode contribuir para o crescimento das mesmas.

Outra causa do aumento da taxa de crescimento das lentilhas pode ser os diferentes gêneros usados (*Wolffia* e *Lemna*), com diferentes taxas de crescimento, ou simplesmente, a melhor adaptação das plantas na fase final da pesquisa. Há também a possibilidade do aumento da taxa de crescimento das macrófitas na Fase 2, etapa 2 ter ocorrido devido ao recebimento de mais nutrientes. Nesta fase a lagoa com lentilhas era a 2^a da série e não mais a 4^a da série, como na Fase 1 e Fase 2, etapa 1.

CONCLUSÕES

As lagoas de polimento rasas pesquisadas (quatro lagoas, sendo a última com lentilhas), atuando como pós-tratamento do efluente de um reator UASB, apresentaram um desempenho amplamente satisfatório, promovendo uma importante melhora na qualidade do efluente final.

Os melhores desempenhos ocorreram durante a Fase 1, quando ainda não haviam sido colocadas as lentilhas, em comparação com a Fase 2, etapas 2, no sistema 2, na qual as lagoas operaram mais rasas (H = 0,40 m), em comparação com o sistema 1, no qual a profundidade foi bem superior (H = 0,80 m).

A Fase 1, na qual as lagoas operaram com as mesmas profundidades, volumes e TDH, que a Fase 2, etapa 1, (quando foram colocadas as lentilhas d'água), apresentou melhor eficiência. Nestas condições, a colocação das lentilhas d'água na lagoa 4, na Fase 2, etapa 1, não contribuiu para a melhoria do efluente final, comparando com a Fase 1.

Na Fase 2, etapa 2, a redução da profundidade (e do volume) das lagoas, mantida a vazão, acarretou a redução do tempo de detenção nas lagoas, que passou em média de 6,2 dias no sistema 1, para 2,9 dias no sistema 2. Esta redução, no entanto, não prejudicou o desempenho das lagoas, como se poderia esperar. Pelo contrário, ocorreu uma melhoria no sistema 2, levando à conclusão de que os menores TDH impostos às lagoas, neste último sistema, não repercutiram negativamente em sua eficiência.

Sobre a matéria orgânica observou-se que o pior desempenho da lagoa 4, ocorrido na Fase 2, etapa 1, comparando com a Fase 1, foi devido à alta densidade das lentilhas e o inadequado plano de manejo utilizado na fase. Melhores eficiências na remoção de DBO, DQO e SST foram observadas na Fase 2, etapa 2, sistema 2, quando se adequou o período de colheita, mantendo a densidade das lentilhas d'água de acordo com os valores mencionados pela literatura.

Desta forma concluiu-se que, no sistema estudado, a colheita das plantas necessitou ser feita diariamente, mantendo uma densidade de aproximadamente 500 g/m², o que, além de contribuir para um melhor crescimento das lentilhas e manter uma suficiente cobertura para minimizar o desenvolvimento das algas, favorece a remoção da matéria orgânica. A remoção diária mostrou ser essencial neste plano de manejo, mas é um elemento complicador, por apresentar maior dificuldade operacional, principalmente em lagoas grandes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALAERTS G. J.; MAHBUBAR M. R.; KELDERMAN P. Performance of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon. Water Research, v. 30, 1996. p. 843-852.
2. AL-NOZAILY, F.; ALAERTS, G. Performance of Duckweed-Covered Sewage Lagoons in Sana'a, Yemen, on

- High Strength Sewage. In: I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN Y REUSO, Santiago de Cali, Colômbia, 2000. p.272-285.
3. ANDRADE, A.V.; MASCARENHAS, L. C.A.; VON SPERLING, M. Avaliação da Utilização de Lentilhas d'água para a Melhoria da Qualidade do Efluente de Lagoas de Polimento. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, Set., 2003.
 4. BUDDHAVARAPU, L. R.; HANCOCK, J. J. Advanced Treatment for Lagoons Using Duckweed . Water Environmental and Technology Magazine, Mar., 1991.
 5. CAICEDO, J.R.; ESPINOSA, C.; ANDRADE, M.; GIJZEN, H. Effect of anerobic pre-treatment on enviromental and physicochemical characteristics of a duckeed based stabilization pond. In: I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN Y REUSO, Santiago de Cali, Colômbia, 2000. p.245-256.
 6. COLLI-MISSET,J.; CONTRERAS, E. F.; ORTIZ, C. T.; ROMERO, J.; NAVARRETE, A. G. Otimizacion de una laguna de maduración utilizando manparaje y tapetes alternados de Lemna gibba y algas. In: I CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA EN LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN Y REUSO, Santiago de Cali, Colômbia, 2000. p.257-271.
 7. KÖRNER S., LYATUU G. B.; VERMAAT J. E. The influence of Lemna gibba L. , on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. Water Research, v. 32 , nº 10, 1998. p. 3092-3098.